



# Projet ANR *MEFISTO*

*Bruno Capra - OXAND*



01/10/2015



## ▶ MEFISTO : Maîtrise durable de la fissuration des infrastructures en bétons

### ■ Contexte

- Problématique des Maîtres d'Ouvrages

→ *Evaluation et prédiction de la performance des ouvrages vis-à-vis de la fissuration*

→ **Besoin en outils permettant de maîtriser l'impact de la fissuration du béton armé (jeune âge, service, prolongation de durée de vie...)**

► Projet National CEOS.fr



## COMPORTEMENT ET ÉVALUATION DES OUVRAGES SPÉCIAUX vis-à-vis de la fissuration et du retrait

- Modélisations numériques
- Expérimentation
- Réglementation et pratiques d'ingénierie
- Recommandations

} → MEFISTO

Transfert de  
technologie

## Objectifs

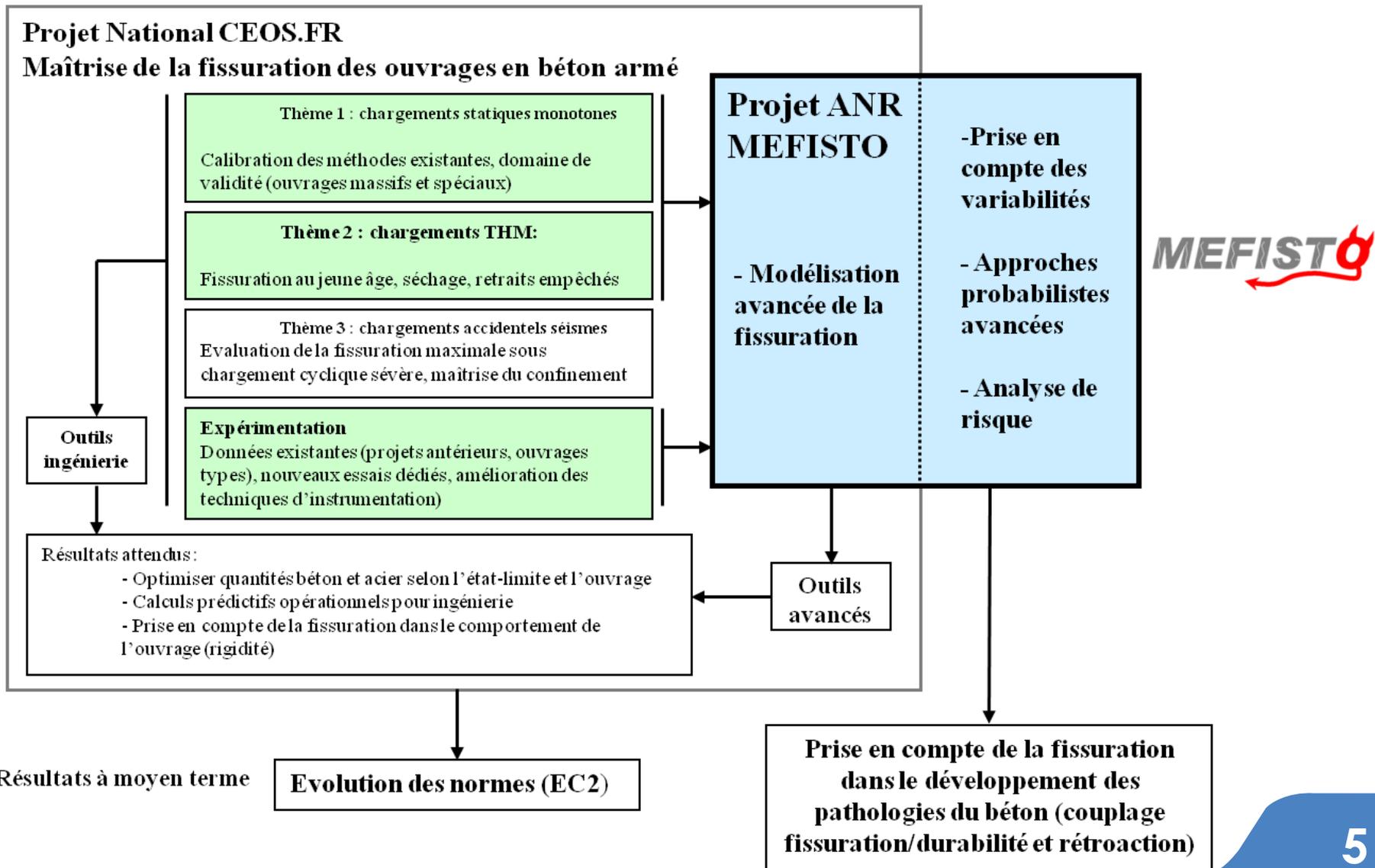
- ▶ Verrous scientifiques dans l'évaluation de la durée de vie des ouvrages :

### ***Couplages entre la dégradation des matériaux et l'état mécanique de l'ouvrage (fissuration)***

- ▶ Objectifs du projet :
  - ***Développement de nouveaux modèles de fissuration plus réalistes;***
  - ***Prise en compte des différentes sources de variabilités et études de sensibilité***

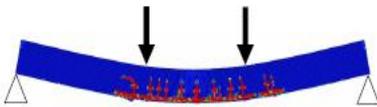
**➔ Outils pour l'ingénierie – Evolution des normes**

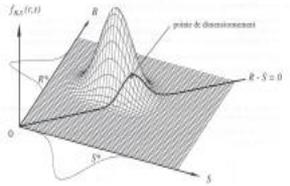
# ► Complémentarité MEFISTO / CEOS.fr



# Partenaires du projet

**MEFISTO**  
Maîtrise durable de la Fissuration des InfraStructures en béton

Appel à Projets ANR 2008

• Pilote :  Oxand



• Labellisation :



## Programme scientifique

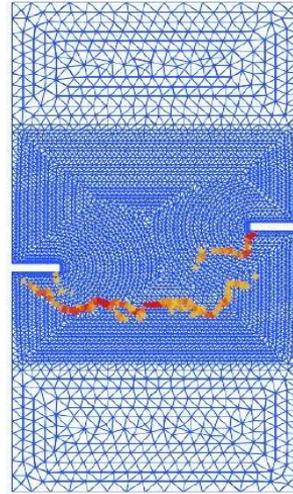
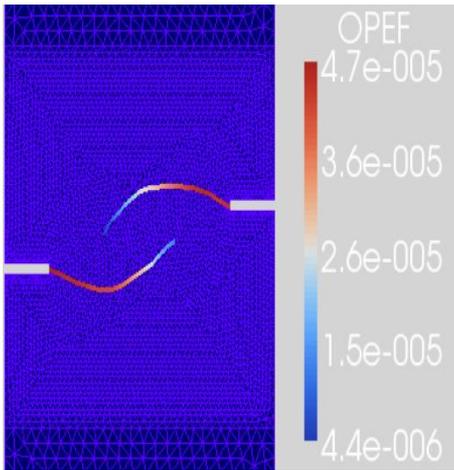
- ▶ **GT 1** : Technologies numériques de modélisation de la fissuration  
(→ Chargements statiques CEOS.fr)
- ▶ **GT 2** : Fissuration sous chargements multiphysiques  
(→ Comportement THM CEOS.fr)
- ▶ **GT 3** : Expérimentation – Variabilité des données  
(→ Expérimentation CEOS.fr)
- ▶ **GT 4** : Analyse de sensibilité – Analyse de risque  
(→ Pratique ingénierie THM CEOS.fr)

## GT 1 : Technologies numériques de modélisation de la fissuration

(→ Chargements statiques CEOS.fr)

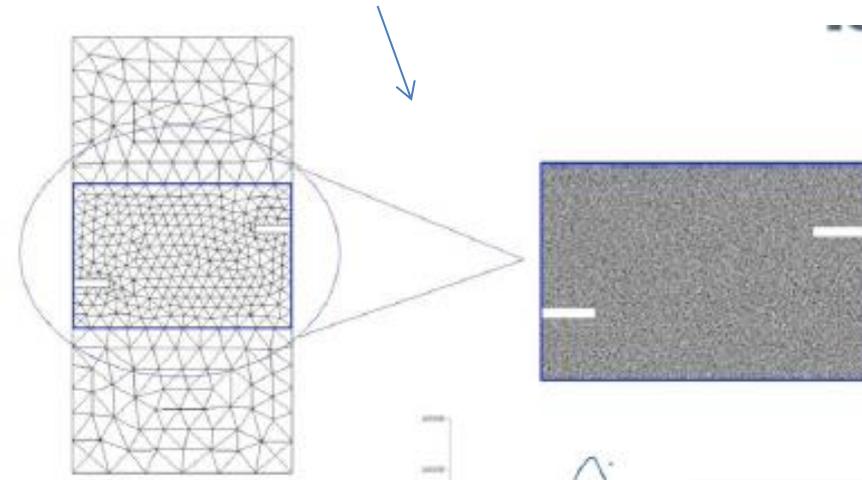
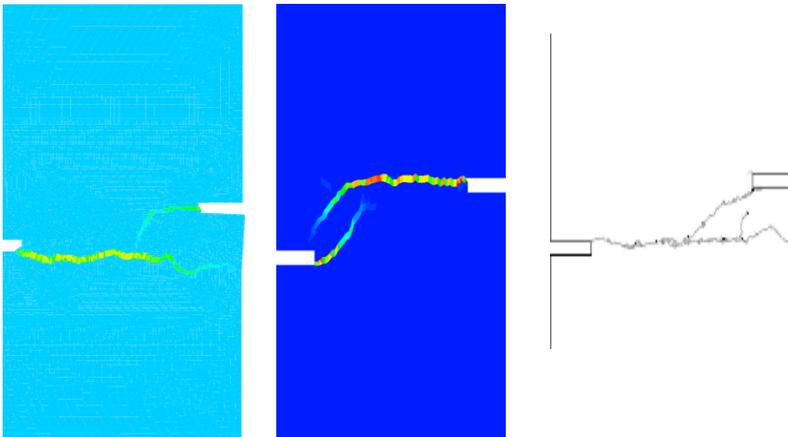
- ▶ Verrous scientifiques : Passage continu/discret :
  - localisation, ouverture, profondeur des fissures
- ▶ 2 approches principales :
  - post-traitement de modèles continus (endo.)
  - modélisation continue-discrète
- ▶ Equipes impliquées :
  - 3S-R, SIAME, LMT, GeM, LCPC, EDF

# ▶ GT1 – Chargement statique



Nouvelle approche non locale en mécanique de l'endommagement pour le calcul de trajet et d'ouverture de fissure (F. Dufour - 3S-R, Grenoble)

Application de la modélisation discrète au post-traitement de calculs éléments finis pour la description fine de la fissuration (A. Delaplace - LMT, Cachan)

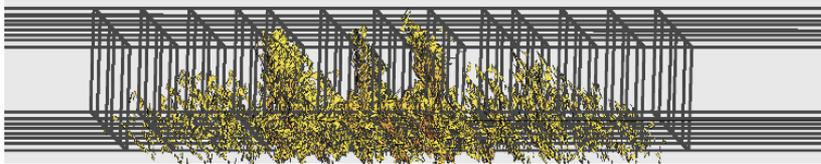
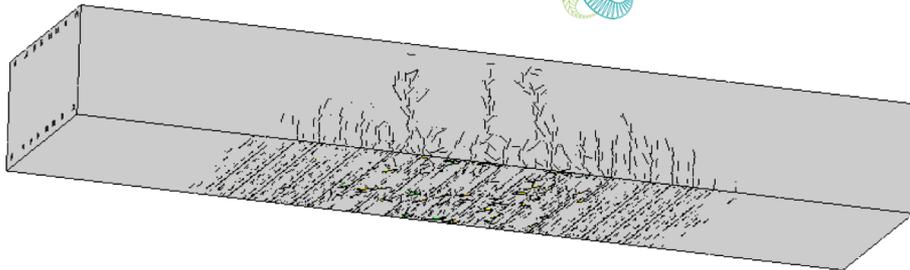


## ▶ GT1 – Chargement statique

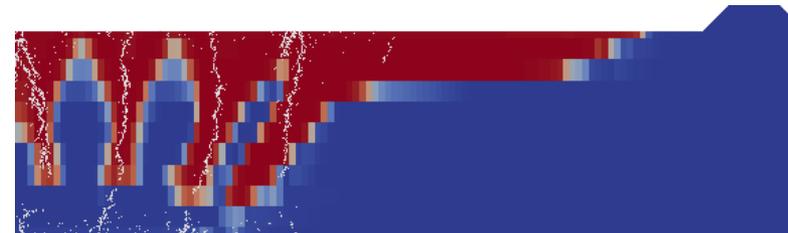
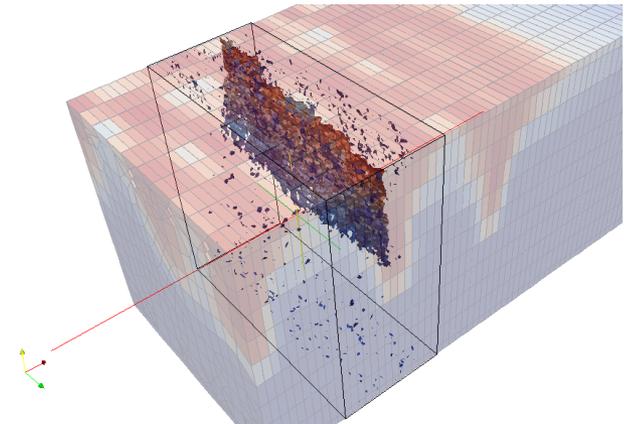
*Différentes approches :*

- Continues
- Mixtes continues discrètes
- Modèle probabiliste

*RL1 : Etat de fissuration*



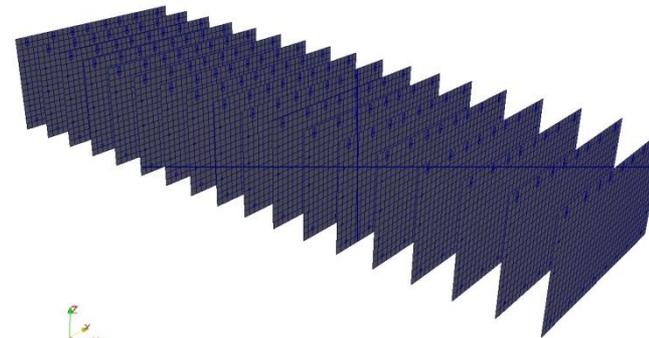
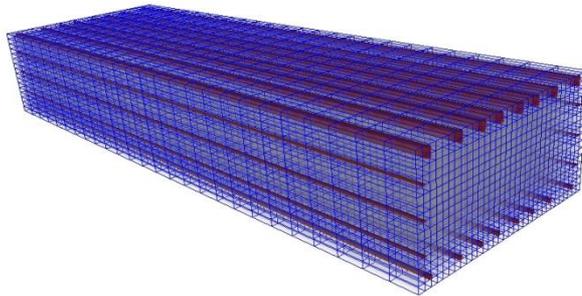
*Ouverture de fissure env. 450  $\mu\text{m}$*



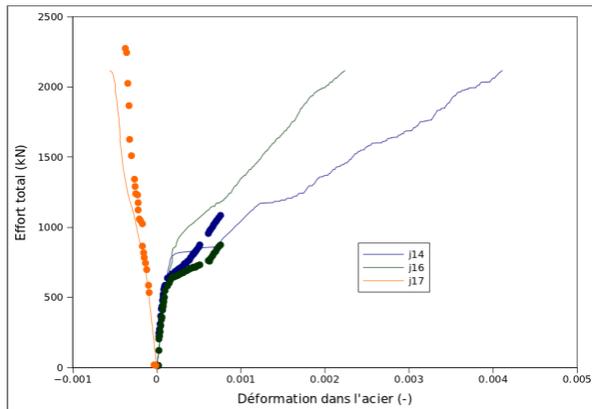
*LMT*

*RL1 : Superposition des champs d'endommagement et de fissuration*

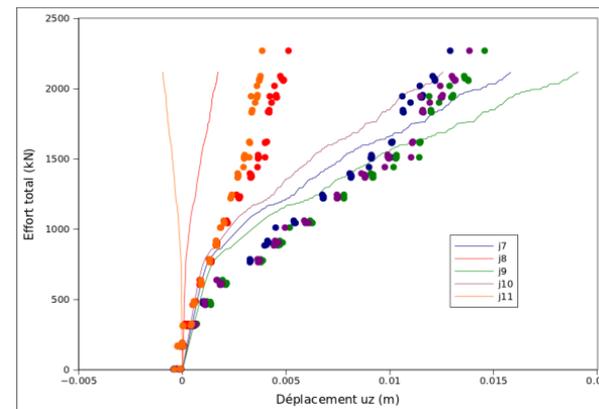
# ▶ GT1 – Chargement statique



3S-R : RL1 Approche poutre multi-fibres



Déformations aciers



Déplacements

SIAME : RL1 Comparaison numérique / expérimental

## GT 2 : Fissuration sous chargements multiphysiques

(→ Chargements THM CEOS.fr)

### ▶ Verrous scientifiques :

- Modélisation des phénomènes physico-chimiques à la base du comportement au jeune âge et à long terme des ouvrages

### ▶ Développement et/ou enrichissement de modèles numériques :

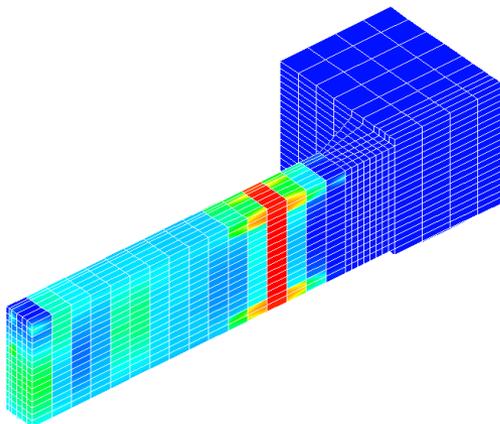
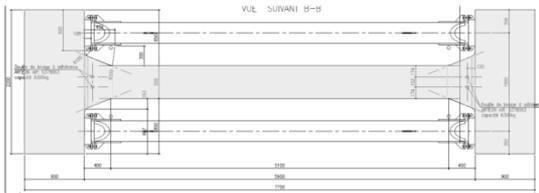
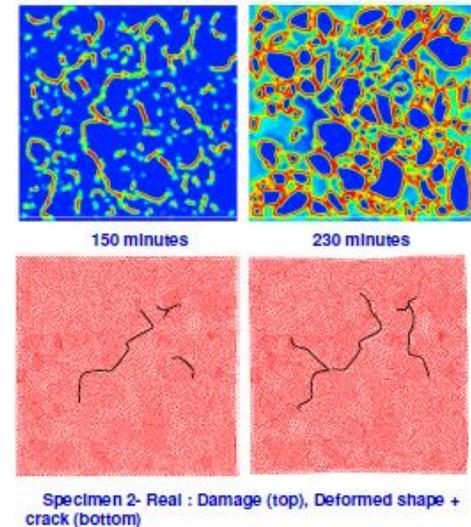
- influence de la distribution poreuse, du fluage de dessiccation
- influence des actions thermo-hydriques
- modélisation multi-échelle sous chargement THM

### ▶ Equipes impliquées :

- LMDC, CEA, LMT, CSTB

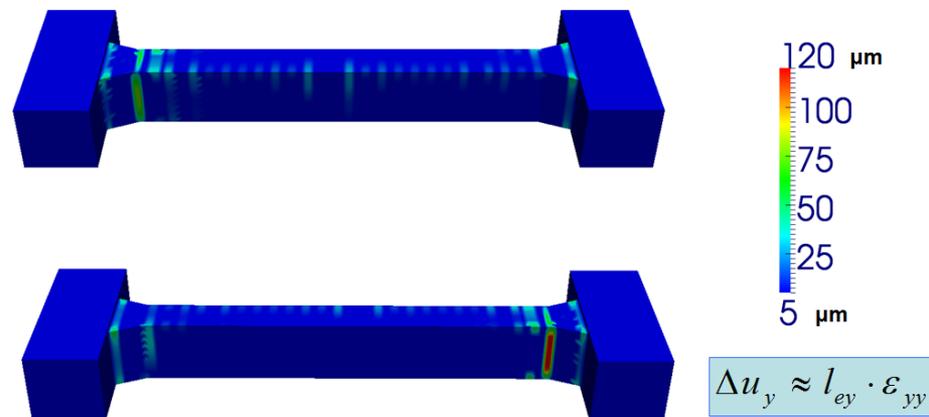
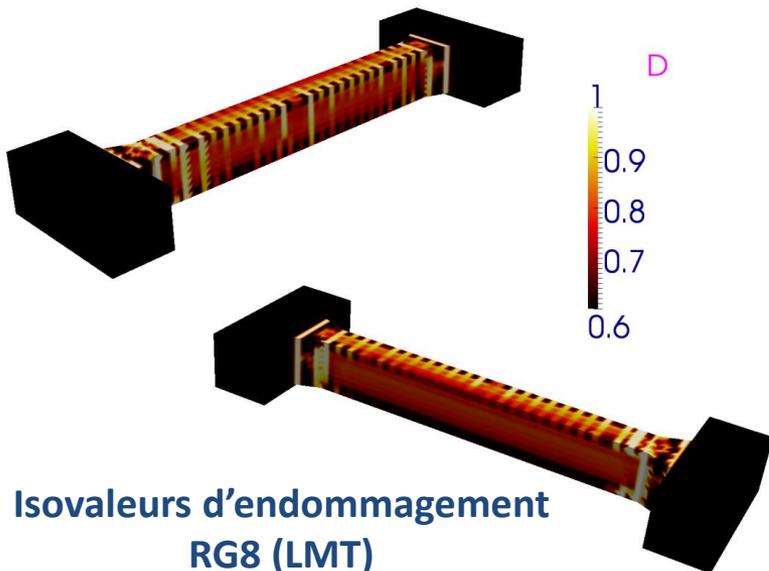
## ▶ GT2 – Chargements THM

- Approche mésoscopique (CSTB)
- Simulation d'ouvrages massifs (LMT)

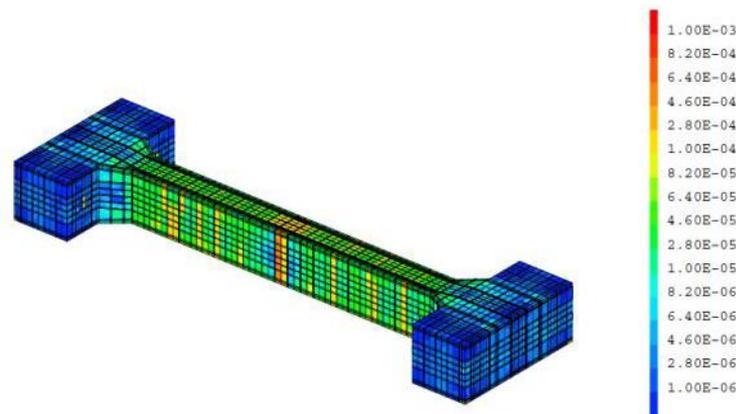
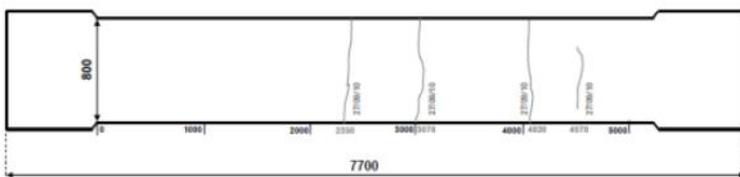


- Fissuration du béton au jeune âge : développement d'un nouvel essai à l'anneau actif (prise en compte des déformation thermique et endogène)
  - Déformations thermiques de structures massives reproduites en laboratoire
- Simulations numériques :
  - Identification du coefficient de couplage entre fluage et fissuration
  - Effet du coefficient de couplage fluage fissuration sur l'ouverture d'une structure massive

▶ GT2 – Chargements THM



Champs de fissuration essai THM (LMDC)



## GT 3 : Expérimentation – Variabilité des données

(→ Expérimentation CEOS.fr)

### ► Verrous scientifiques :

- Suivi et mesure de la fissuration en cours de développement + essais spécifiques

### ► Fissuration au jeune âge due au retrait et au fluage :

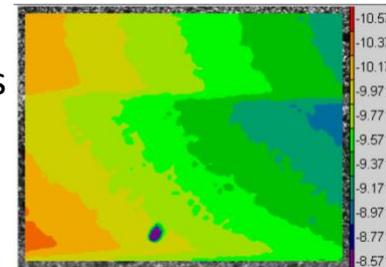
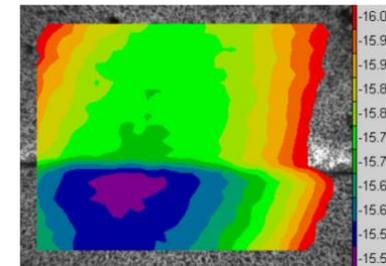
- effet de la chaleur d'hydratation (LMDC, LCPC)

### ► Fissuration à long terme :

- couplage fluage propre/fissuration
- couplage fluage de dessiccation/fissuration
- mesure d'ouvertures de fissures

### ► Equipes impliquées :

- LMDC, LMT, GeM



Corrélation d'images et fissuration des structures en béton armé (LMT)

## GT 4 : Analyse de sensibilité – Analyse de risque

(→ Pratique Ingénierie CEOS.fr)

### ▶ Verrous scientifiques :

- Prise en compte de la variabilité matérielle et structurale dans l'estimation de la fissuration

### ▶ Sélection d'outils probabilistes:

- inventaire des méthodes pertinentes et mise à disposition d'outils numériques téléchargeables

### ▶ Application aux modèles déterministes (Statiques et THM) :

- ▶ Caractérisation probabiliste de la fissuration de structures simples en béton (3S-R)
  - Génération de champs aléatoires corrélés pour représenter l'hétérogénéité du matériau,
  - Propagation d'incertitudes à travers le modèle
- ▶ Comparaison modèles réglementaires/essais (OXAND)
  - Prise en compte des incertitudes par une erreur de modèle
  - Approche simplifiée par courbes de fragilité

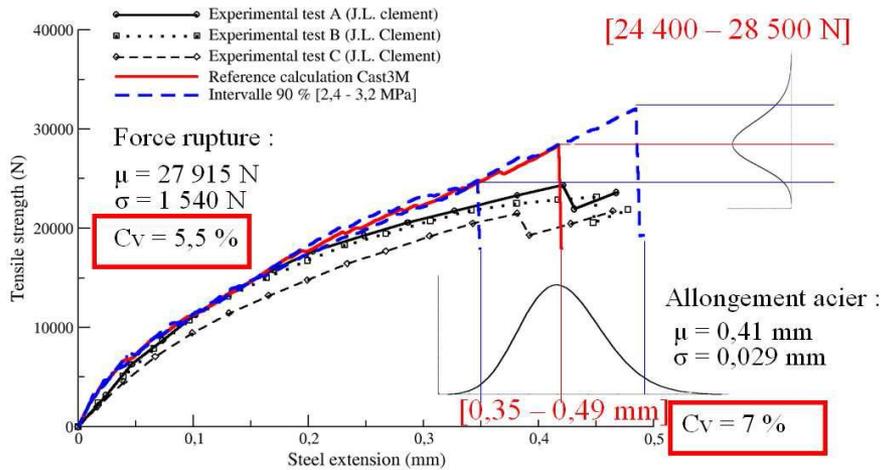
### ▶ Equipes impliquées : LMDC, GeM, 3S-R, Oxand

# GT 4 – Approches probabilistes

## 3S-R : modélisation numérique de tirants

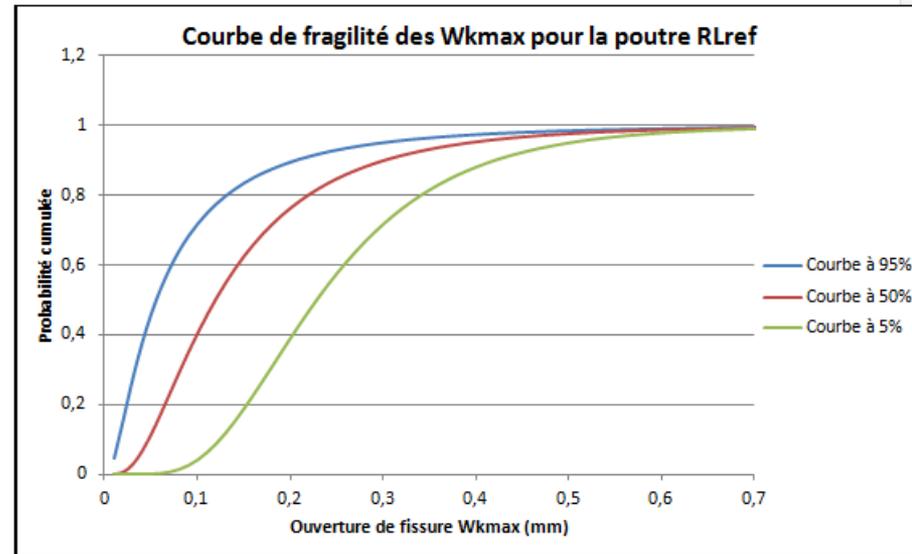


Endommagement



Intervalle de confiance à 90% de la force à rupture

OXAND : analyse des modèles réglementaires – erreur de modèle et courbes de fragilité



## ► Conclusions

- Développement de nouveaux modèles de fissuration du béton (ouverture, espacement) selon différentes approches (post-traitement endommagement, continu/discret, modèle probabiliste...)
- Comparaison avec des essais de grandes dimensions : mise en évidence des paramètres les plus influents à prendre en compte dans les modélisations
- Prise en compte des incertitudes : ouverture vers les approches probabilistes
- Collaboration importante entre les équipes et les projets (PN CEOS.fr / ANR MEFISTO) qui a permis d'orienter le projets vers des besoins concrets

## ► Perspectives

- Application des modèles développés pour les objectifs CEOS.fr :
  - *Sélection des modèles les plus adaptés pour l'établissement de tests numériques*
  - *Nouveaux modèles à destination de l'ingénierie*
  - *Évolution de la réglementation*
- Prise en compte de la fissuration dans le développement des pathologies du béton (couplage fissuration/durabilité et rétroaction)